

基于反事实推理的培养方案修订方法研究*

旷怡 段斌

龚立娇

湘潭大学自动化与电子信息学院, 湘潭 411105

石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003

摘要 人才培养方案是专业认证和新一轮本科教学工作水平评估重要的评审指标。在工程教育专业认证中, 培养方案的制定是首要前提, 涵盖了培养目标、毕业要求、课程目标等有机体的制定。由于社会需求的变化和科学技术的发展等, 人才培养方案需要定期的修订, 以使培养的学生能满足社会的需求。然而, 目前培养方案的修订主要是依靠因果直觉和顿悟, 缺乏心理模型和方法学, 难以制定能反映毕业生培养目标达成情况的调查问卷, 以得到合理的培养方案修订策略。本文针对此问题, 基于初步培养方案社会调查结果, 引入因果关系之梯中第三层级的反事实推理方法, 得到科学合理的二次培养方案社会调查问卷, 以得到可衡量、可评价的证据, 用于培养方案的修订。

关键字 反事实推理, 培养方案, 培养目标合理性评价, 毕业要求, 课程目标, 因果推理

Methodology Study of Revising Training Programs Based on Counterfactual Reasoning

Kuang Yi Duan Bin

Gong Lijiao

School of Automation and Electronic Information
Xiangtan University,
Xiangtan 411105, China;
ykuang@xtu.edu.cn

College of Mechanical and Electrical Engineering
Shihezi University
Shihezi 832003, China
glj_mac@shzu.edu.cn

Abstract— Talent training program is an important evaluation index for professional accreditation and the new round of undergraduate teaching work level assessment. In the professional accreditation of engineering education, the formulation of the training program is the first prerequisite, covering the formulation of training objectives, graduate attributes, course objectives, and other organisms. Due to the changes in social demand and the development of science and technology, etc., the training program needs to be revised periodically so that the students trained can meet the needs of society. However, the current revision of training programs mainly relies on causal intuition and insight, lacks mental models and methodology, and makes it difficult to formulate questionnaires that can reflect the achievement of graduates' training objectives to get a reasonable strategy for revising training programs. This paper addresses this problem by introducing the counterfactual reasoning methodology of the third level in the ladder of causality based on the results of the preliminary cultivation program social survey to obtain a scientifically sound secondary cultivation program social survey questionnaire to get measurable and evaluable evidence for training program revision.

Keywords— Counterfactual reasoning, training program, evaluation of rationality of training objectives, graduation requirements, course objectives, causal inference.

1 引言

2016年中国正式加入国际工程联盟《华盛顿协议》, 标志着我国工程教育已经基本实现国际等效^[1-2]。2020年10月, 中共中央、国务院印发的《深化新时代教育评价改革总体方案》中明确要求强调过程性评价, 完善过程性考核和结果性考核有机结合的学业考评制度^[3]。2022年3月, 在首都北京召开了中国工程师联合体第一届理事会第一次会议。中国工程师联合体的主要任务是建立国际实质等效的工程能力评价标准体系, 完善工程师职业成长服务体系, 开展工程

师资格国际互认区域和行业试点, 推动工程师资格国际互认。因此, 工程教育认证的初衷是实现工程师资格国际互认。

在《华盛顿协议》中, 以学生为中心、产出导向, 持续改进是专业认证的三大理念^[4]。在新工科的背景下, 须遵循立足人才需求确定培养方案中培养目标、毕业要求、课程体系和课程目标, 对其进行合理性评价和达成情况评价, 并基于评价结果进行持续改进工作^[5]。随着时代的发展和进步, 培养方案需要及时修订和调整。东南大学自动化学院的戴先中教授认为教育系统是一个复杂且大时滞系统, 而目前大时滞系统的负反馈闭环控制是控制科学发展至今一直未能得到有

*基金资助: 本文得到湖南省普通高等学校教学改革研究重点项目资助。

效解决的难题^[6]。社会需求、生源结构的变化及学科的发展,决定了人才培养方案的编制实施是一个动态的过程,定期修订人才培养方案已成为高校的常态化工作^[7]。在进行培养方案社会调查的时候,通常采用调查问卷的形式向行业/企业专家、在校学生、毕业5年左右的校友等征求对培养方案的看法和建议,以用于对培养目标、毕业要求、课程目标的持续改进。然而随着时空和人群的变换,很难凭借个体的经验或常识能观察清楚^[8]。目前的培养方案修订存在以下问题:

(1) 课程目标达成情况评价结果难以找出教学问题;

(2) 在培养方案合理性评价中难以提出可衡量的调查问卷问题,难以得到有效的证据;

(3) 难以基于评价结果提出改进措施。

2022年教育部高等教育司发布的《教育部高等教育司2022年工作要点》中指出要全面推进高等教育教学数字化。通过深度融合工程教育理念和人工智能技术,能模拟、延伸和扩展教师的智慧,促进高等教育教学数字化。为解决目前培养方案修订存在的问题,需深度融合工程教育理念和人工智能技术,推进基于OBE理念的教学改革和持续改进工作。近年来,人工智能领域中深度学习方向发展迅猛,在搜索技术,数据挖掘,机器学习,机器翻译,自然语言处理,多媒体学习,语音,推荐和个性化技术,以及其他相关领域都取得了很多成果^[9, 10, 11]。深度学习主要是采用类似于卷积神经网络等方法通过组合低层特征形成更加抽象的高层表示属性类别或特征,以发现数据的分布式特征表示。目前大多数的深度学习只在第一层级关联层级,即只是通过观察到的数据找出变量之间的关联性,因系统的局限性,无法超越因果关系之梯的第一层级。例如,由谷歌的子公司DeepMind开发的AlphaGo是一个基于卷积神经网络的程序,擅长围棋游戏。在2016年的时候,击败了最顶尖的人类棋手李世石,开启了人工智能的元年^[12]。但是,AlphaGo的程序编写者并不知道为什么这个程序能把下围棋这个任务执行得这么好。深度学习这类网络不遵循概率规则,它们不以严谨或清晰的方式处理不确定性,也没有对其运行的环境进行表征,网络的可解释性差,如果网络失灵,也不知如何修复^[13]。

随着认知科学和神经科学的发展,研究揭示人类学习和思维的本质在于因果性、组合性和迁移性^[14, 15]。因果性是人类智能的核心,识别、刻画、估算因果效应是人工智能研究的重点和难点,注重于解释和理解。因果思维是一种让人获益匪浅的普适思维技能,帮助人们面对模糊的、复杂的或开放性的甚至过去看似无解的问题时,能够会聚精力,增强洞察力,分析具体情况,提出全新的解决方案,并且得出结论。正是借

助因果思维和那些设计精巧的因果模型,当代科学家得以着手解决那些一度被认为是不可能解决的甚至是超出了科学探索范围的问题。因果关系已经称为现代社会最重要的认知工具之一,已被应用于医学、经济学、材料学、计算机科学、教育学、人工智能等领域^[16, 17]。Judea Pearl因提出贝叶斯网络等因果推理算法给AI发展做出巨大贡献,获得了2011年的图灵奖;加州大学伯克利分校的David Card、麻省理工学院的Joshua D. Angrist和斯坦福大学Guido W. Imbens,将因果推断研究应用于解决经济学领域的问题,而共同获得了今年的诺贝尔经济学奖。教育研究兼具人文关怀和科学理性的双重属性^[18],而因果推断方法能运用数学语言为教师的因果直觉赋予了数学的严谨性,能满足教育研究中的双重属性。培养方案的修订需要以富含因果关系信息的科学证据作为决策依据^[8]。

本文引入图灵奖获得者Judea Pearl的结构因果模型,构建公共基础课和专业课共同支撑毕业要求的结构因果模型,改变传统教学质量评价中教师使用因果直觉来回答问题。因果关系科学的引入将教师的教学智慧用可视化的结构因果模型和数学模型加以表达,解决了公共基础课和专业课难以支撑非技术类毕业要求,并基于OBE理念教学改革的教学问题,通过结构因果模型通过捕捉、保存并阐明了这种直觉,用于指导达成评价、基于评价结果的问题分析、以及基于评价的持续改进。

2 因果推断

因果推断涉及到三种分析框架:反事实框架、潜在结果模型和结构方程模型^[19]。首先,反事实框架中介绍因果效应的发端;潜在结果模型使用数学和可计算的语言对因果理论进行阐述,是一种将假设、命题和结论清晰化表达的计算模型,其原因和结果变量已知的前提下定量分析原因对结果变量的因果效应,并对缺失的潜在结果进行补齐,使观察性研究的效果接近试验性研究。结构因果模型是一种基于图论的因果推断方法,它将事件分为观察、干预和反事实三个层级^[13],并通过do运算将干预和反事实层级的因果关系都降维成可以通过统计学手段解决的问题^[20]。图灵奖获得者Judea Pearl对比了潜在结果模型和结构因果模型这两类模型的等价性,潜在结果模型更加的精确,结构因果模型更加的直观。结构因果模型可以描述多个变量之间的因果关系,Pearl基于贝叶斯网络提出了外部干预的概念,并基于外部干预对因果关系形成了一种形式化表达方法,开创了数据中发掘因果关系和数据产生机制的方法^[19]。

基于人类认知的发展,Pearl将因果关系划分为三个层级:第一层级是关联,涉及到由数据定义的统计相关性,属于观察性研究。在这一层级无法得出事件

互相影响的方向，只知道两者相关，比如我们知道事件 A 发生时，事件 B 也发生，但我们并不能挖掘出是不是因为事件 A 的发生导致了事件 B 的发生。第二个层级是干预，它不仅表明了通过观测数据能直观地看到规律，更想知道如果对观察对象做出干预行为会导致什么结果，比如当我们改变事件 A 时，事件 B 是否会跟着随之改变。第三个层级是反事实，它是对过去所发生的行为的溯因和思考，比如当让事件 B 发生某种变化时，能否通过改变事件 A 来实现^[21,22]。目前的深度学习这类算法上升到第二层级干预和第三层级的反事实，与透明性背道而驰，即无法在数学上证明这些程序会按某种方式运行，如果运行不当，也无法精确的指出哪里需要修改；另外，深度学习和数据挖掘等方法的适应性不强。不同于深度学习和数据挖掘方法，因果模型的构建能解决第二层级干预和第三层级反事实的问题，同时也具有很强的适应性，不论变量之间的数值关系如何，被估量都能适用于与定性模型适配的数据^[23]。因果关系之梯的三个层级具体说明如表 1 所示^[23]，其中第 i 级的问题只能在 i 级或更高级别的信息可用的情况下回答。

表 1 因果关系的层次结构

层级	主要活动	数学语言表达
1. 关联	看，观察	$P(y x)$
2. 干预	行动，干预	$P(y do(x),z)$
3. 反事实	想象，反思，理解	$P(y_x x',y')$

3 基于反事实推理的培养方案修订的问卷调查

反事实是指与我们能够观测到的现实情况相反的一种状态。一般来说，我们是根据是否能直接观测到事件本身来区分该事件是事实还是反事实。依据反事实理论，一个变量 A 对于另外一个变量 B 的因果效应是 A 成立时 B 的事实状态与 A 不成立时 B 的反事实状态之间的差异。如果这种差异存在且在统计上十分显著，则证明变量 A 对变量 B 是有因果效应的，否则二者之间就不存在因果关系^[24]。反事实推理是指对过去已然事实进行否定并重新表征以建构一种可能性假设的思维活动。对于反事实问题，传统上主要是通过随机对照实验来进行因果推断。然而，随机对照实验是耗时耗力耗资金的一项工作，且在工程教育领域中这个方法既不可行，也不符合工程教育专业认证的要求。

培养方案社会调查属于第三个层级的反事实问题，需要的是一种在特定事件或个体层面上谈论个性化的因果关系的能力。调查时通常考虑的是，假如毕业生个体 m 接受了某种事实上并没有的教学活动，或没有参加某种实际上有的教学活动，则毕业生本可能有怎样的成就，例如哪些教学活动可以省去，哪些教学活动需要增加？

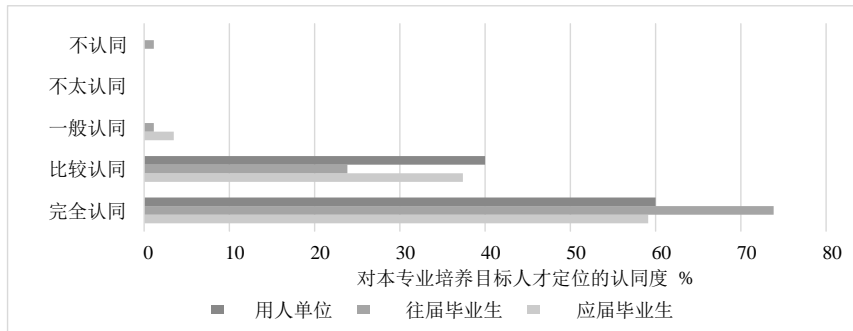
表 2 人才培养方案合理性评价的调查问卷（部分）

评价标准： 五分制评分：5-完全认同；4-认同；3-基本认同；2-不太认同；1-完全不认同。请在相应框内打√。		您的评价				
		5	4	3	2	1
你对本专业培养目标的人才定位是否认同？						
你对本专业毕业生应具备的专业能力是否认同？	掌握电气工程的基础理论和专业识，具备工程实践及科学研究能力					
	能够综合运用电气工程相关领域的知识和技能，在电气工程相关领域从事电力系统和电气装备的规划、设计、运行、开发等工作					
	具有生产组织管理的能力					
	具有自主终身学习的意识和能力					
你对本专业毕业生从业领域的认同？	生产运行					
	设计					
	技术服务					
	管理					
你对本专业毕业生应具备的职业技能是否认同？	技术研究					
	能够综合运用电气工程相关领域的知识和技能，在电气工程相关领域从事电力系统和电气装备的规划、设计、运行、开发等工作					
你对本专业毕业生应具备的终身学习能力是否认同？	具有终身学习的意识和能力					
	具有团队意识					
你对本专业毕业生应具备的素养是否认同？	能够在项目研究、产品开发和团队管理中担任协调、组织角色					
	能够跟踪本专业国内外发展动态，将新知识、新技术、新装备应用到工程实践中。					

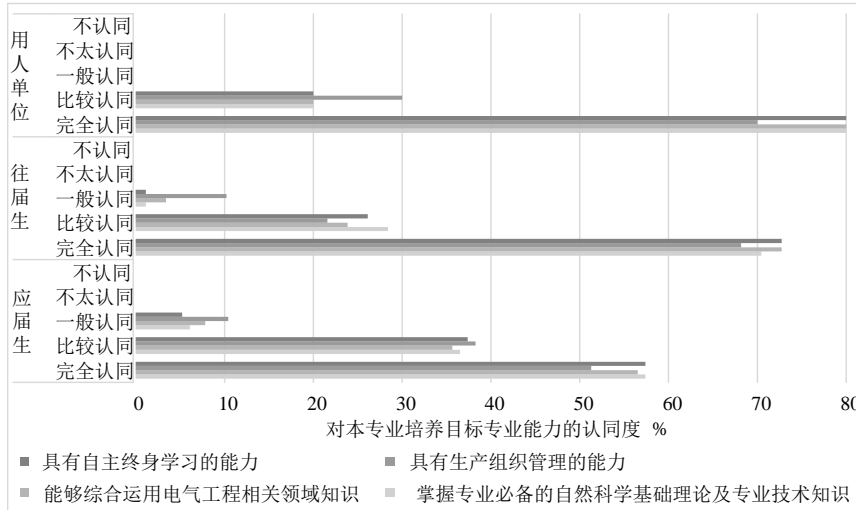
反事实问题用数学语言表示为：

$$P(y_x|x',y') \tag{1}$$

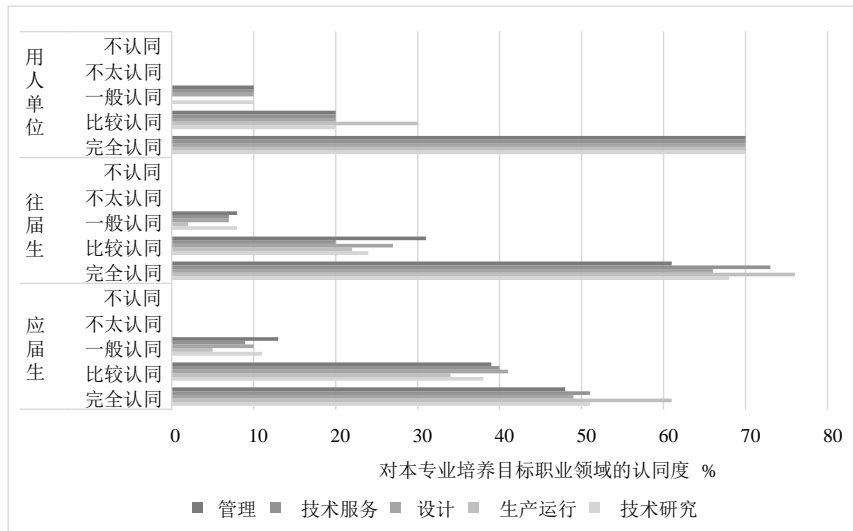
即表示在给定实际的观测量 $X = x', Y = y'$ 的条件下，在 $X = x$ ，观察到事件 $Y=y$ 的概率。



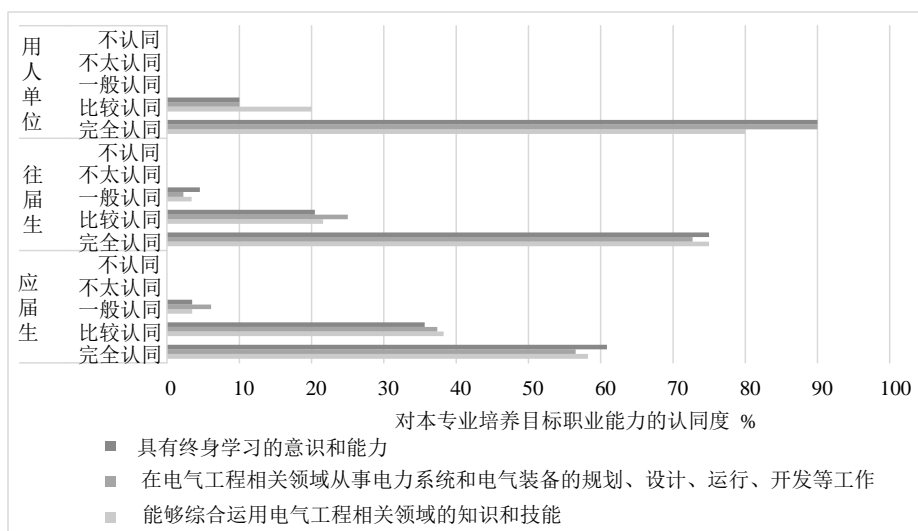
(a) 对本专业培养目标人才定位的认同度



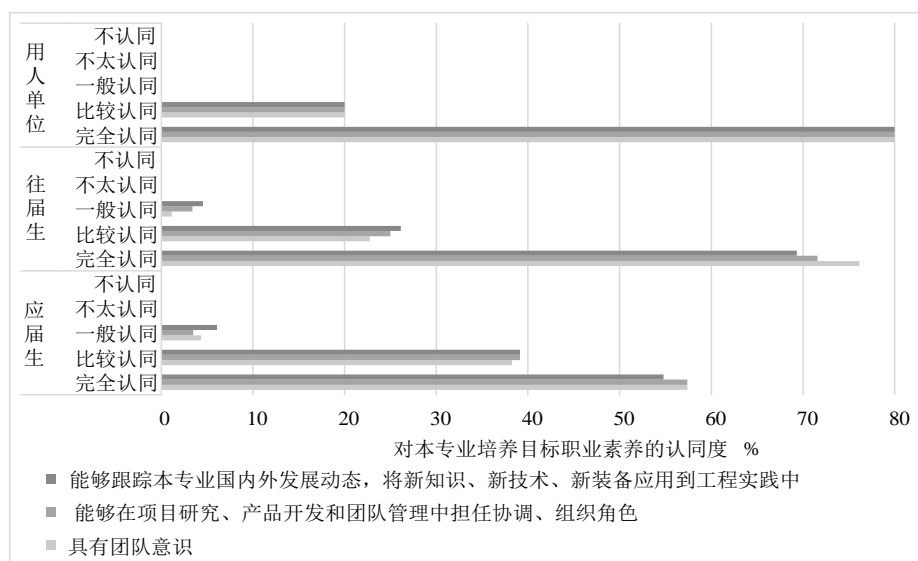
(b) 对本专业培养目标专业能力的认同度



(c) 对本专业培养目标职业领域的认同度



(d) 对本专业培养目标职业能力的认同度



(e) 对本专业培养目标职业素养的认同度

图 1 用人单位对 2017 版培养目标合理性调查结果统计数据

目前，常用的反事实推理方法有 Rubin 的无模型推理方法和 Judea Pearl 的结构因果模型方法。由于无模型方法是数据驱动而非模型驱动，所解决的只是第一层级关联的问题，而不能解决反事实的问题，因此本文采用结构因果模型的方法来进行反事实推理。

4 案例分析

某高校机械电气工程学院采用了座谈、调查问卷等调研方式，收集了专业教师、企业行业高校专家、应届毕业生、往届毕业生、用人单位展开对 2017 版人才培养方案合理性评价的信息，发放给往届毕业生和用人单位。部分调查问卷如表 2 所示。

应届毕业生、往届毕业生和用人单位对本专业培养目标的人才定位、专业能力、非专业能力、职业领域、职业能力、职业素养的认同度的问卷调查统计数据如图 1 所示。

由图 1(a)可知，在对本专业培养目标人才定位的认同度方面，用人单位、往届毕业生和应届毕业生有较高的认同度，但存在些许不确定性，尤其是毕业生对科学研究人才类型的认同。由图 1(b)可知，用人单位和毕业生对本专业培养目标的专业能力有较高的认同度，尤其在自然科学基础理论、专业技术知识和自主学习能力方面。由图 1(c)可知，在对本专业培养目标非专业能力的认同度方面，各方有较高的认同度，但用人单位和往届毕业生对非专业能力的认同度明显

低于专业能力。由图 1(d)可知, 在对本专业培养目标职业领域的认同度方面, 用人单位和往届毕业生对本专业毕业生从事各职业领域的认同度相对较高, 而应届毕业生的认同度较低, 反映出用人单位和毕业生在就业方面存在一定程度的职位不稳定性。

表 3 培养目标合理性评价的信息反馈意见表 (部分)

用人单位	被访问人的职务/职称	评价意见或建议
特变电工新疆新能源股份有限公司	2008 届电气毕业生	工作上用的软件是 UG, 和学校学的部分软件应用领域差异较大 软件使用能力
新疆特变电工自控设备有限公司	2018 届电气毕业生	感觉在学校学习的绘图标准有些欠缺, 当时学的和在企业中实际应用有区别 软件使用能力
	2018 届电气毕业生	希望在电路图绘制这方面需要加强课程, 目前自己从事设计工作, 这方面用的比较多 → 软件使用能力
国网新疆电力昌吉供电公司	2015 届电气毕业生	公司内该大学学生非常多, 在日常工作中接触的电气图纸比较多, 重点用到 CAD 等软件, 建议对校内学生加强软件操作培养。→ 软件使用能力
	人力资源总监	计算机软件应用模块的深度使用, 如能用 OFFICE 或 WPS 进行 WORD、EXECL、PPT 文件编辑、数据统计分析及公式应用、文稿美化, 课件的编写及制作等, 具备快速掌握企业生产营销管理系统软件应用的能力。→ 软件使用能力
	副总经济师兼组织部人力资源部主任	目前公司自动化设备越来越多, 在自动化应用和软件操作方面, 我认为学校也应该灌输意识、加强引导。→ 软件使用能力

由图1(e)可知, 用人单位和往届毕业生对其有较高的认同度, 但用人单位更倾向于完全认同, 而往届毕业生则提出更高要求。相反, 应届毕业生的认同度相对较低, 表明初入职场的毕业生对自身职业能力和发展有一定的不确定性。由图1(f)可知, 在对本专业培养目标职业素养的认同度方面, 各方对本专业毕业生的职业素养普遍持有较高的认同度, 特别是用人单位对其认同度最高, 反映出对职业稳定性和综合发展潜力的高度评价, 而相比之下, 应届毕业生对职业素养的认同度较低, 可能是因为初入职场对自身职业素养发展的认知模糊。

综上, 用人单位、往届毕业生和应届毕业生普遍认同本专业培养目标, 但对培养目标中要求的科研能力、生产组织管理能力等认同度较低。用人单位和往届毕业生对培养目标合理性评价的部分信息反馈意见表如表 3 所示。

其中, X 表示所在本科专业开设的与软件相关的课程数目 ($X=1, 2, 3, \dots$); E 为软件使用能力类毕业要求 (3, 5) 达成度, 代表学习成绩水平; Y 为毕业 5 年左右的软件使用能力, 由用人单位依据相对于当前工作的能力要求 (满足度) 进行评定 (估计)。毕业 5 年左右的软件使用能力 Y 听从于所在本科专业开设的软件课程数目 X 与软件使用能力类毕业要求达成度 E ; 软件使用能力毕业要求达成度 E 听从于所在本科专业开设的软件课程数目 X , 所以, 图 2 的数学表达为:

$$Y_X(u) = a + b \times E(u) + c \times X(u) + U_Y$$

$$E(u) = d + e \times X(u) + U_E$$
(2)

其中, a, d 为截距, b, c, e 为回归系数; U_E 为毕业生的特质因子, 表示影响软件使用能力毕业要求达成度的其他未观测到的变量, 即毕业生个体 U 毕业 (学习) 能力的特质; U_Y 为毕业生的特质因子, 表示影响毕业 5 年左右的软件使用能力的其他未观测到的变量, 即毕业生个体 U 职业 (工作) 能力的特质。

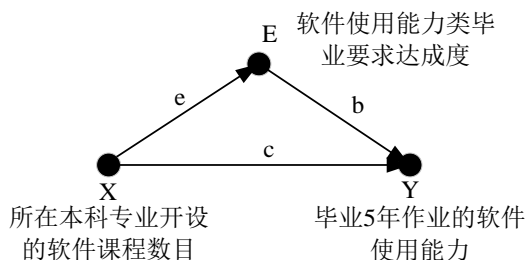


图 2 培养方案社会调查结构因果模型

表 4 表征了毕业生所在的本科院校该专业已开设的软件课程数 $X(u)$ 与毕业时毕业软件使用能力 $E(u)$ 、用人单位对毕业 5 年的毕业生软件使用能力的评价 $Y_X(u)$ 之间的关系。

表 4 毕业生软件使用能力评价结果

毕业生(u)	$X(u)$	$E(u)$	$Y_X(u)$
任*芝	6	0.75	0.60
王*凌	7	0.78	0.85
袁*	6	0.85	0.75
吴*	3	0.75	0.50
刘*瑜	3	0.78	0.50
唐*徽	6	0.88	0.70
彭*文	7	0.75	0.80
刘*洁	5	0.85	0.70
等等

由表 3 可以看出, 任*芝所在的本科院校该专业开设了六门与软件相关的课程, 在校期间教师对其软件

使用能力的评价是 0.75, 在毕业 5 年后, 用人单位对任*芝使用软件能力的评价是 0.60。刘*瑜所在的本科院校该专业开了三门软件课程, 在校期间教师对其软件使用能力的评价是 0.78, 在毕业 5 年后, 用人单位对刘*瑜的软件使用能力的评价是 0.50, 未达到用人单位对软件使用能力的基本要求。如果刘*瑜的本科院校该专业开设了五门软件课程, 那么他在毕业 5 年后, 刘*瑜的软件使用能力会如何?

这是一个反事实问题, 为了求解此问题, 包含以下三个步骤:

(1) 外展: 利用关于刘*瑜和其他毕业生的数据来估计刘*瑜的特质因子: U_E (刘*瑜)和 U_Y (刘*瑜), 即求解在现实世界中当 $X=3, E=0.78$ 时, 刘*瑜的 U_E 和 U_Y 。

(2) 干预: 利用 *do* 算子改变模型, 以反映我们提出的反事实假设, 在这个案例中即, 例如刘*瑜的本科院校该专业开设了 4 门或者 5 门软件课程, 那么他在毕业 5 年后, 其软件使用能力会如何。

(3) 预测: 利用修改后的模型及有关外生变量的更新信息 U_E (刘*瑜)、 U_Y (刘*瑜)和 X (刘*瑜)来估算刘*瑜的新的毕业 5 年后软件使用能力, 即 $Y_{X=4}$ (刘*瑜)或 $Y_{X=5}$ (刘*瑜), 即求解在假如世界中, 当 $X=4$ 或 $X=5$ 时, $Y_4(u)$ 或 $Y_5(u)$ 的值, 则可确定课程体系是改进为开设 5 或 6 门与软件相关的课程。

根据调查的 88 位毕业生, 利用 R 语言的 *lm* 函数进行多元线性拟合, 可得 $a = -0.003, b = 0.22, c = 0.10, d = 0.90, e = -0.03$, 因此可得:

$$Y_X(u) = -0.003 + 0.22 \times E(u) + 0.10 \times X(u) + U_Y(u)$$

$$E(u) = 0.90 - 0.03 \times X(u) + U_E(u) \quad (3)$$

对于毕业生刘*瑜, 当 X (刘*瑜)=3 时, E (刘*瑜)=0.78, Y_3 (刘*瑜)=0.5 时, U_Y (刘*瑜)=0.03, U_E (刘*瑜)=-0.03, 则在反事实世界中, 当刘*瑜的本科院校该专业开设了 4 门或者 5 门软件课程时, 那么他在毕业 5 年后, 其软件使用能力 Y_4 (刘*瑜)=0.59, Y_5 (刘*瑜)=0.69。因此, 可得改进的措施是该专业至少需要开设 5 门与软件相关的课程, 即还需至少增加 2 门与软件相关的课程。进一步地, 据此优化给毕业生或用人单位的二次调查问卷, 如表 5 所示。

在二次调查中需要向调查毕业生、用人单位应增加多少软件课程。在最终确定课程体系中增加或减少硬件或软件课程数和具体的课程需要综合考虑毕业生、用人单位、学校课时安排等约束。

表 5 人才培养方案合理性评价的二次调查问卷 (部分)

问题	选项 A	选项 B	选项 C	选项 D
1. 目前, 本专业共有 3 门与软件相关的课程, 您是否认同需要增加软件课程?	非 常 认同	认 同	基 本 认同	非 常 不 认同
2. 如果问题 1 选择 A/B/C, 您认为需要增加多少门软件课程?	2	3	4	5 门及以上
3. 如果问题 1 选择 A/B/C, 您认为需要增加哪些软件课程?	R	Java	Python	其他, 请写出推荐的软件课程
4. 如果问题 1 选择 D/E, 您认为需要减少哪些软件课程呢?				
5. 目前, 本专业共有 24 门与硬件相关的课程, 您是否认同需要减少硬件课程?	非 常 认同	认 同	基 本 认同	非 常 不 认同
6. 如果问题 5 选择 A/B/C, 您认为需要减少多少与硬件相关的课程?	1~2	3~4	5~6	7 及以上
7. 如果问题 5 选择 A/B/C, 您认为现有的硬件课程需要替换为哪些其他的硬件课程?	集 成 电 路 原 与 计	半 导 体 器 件 子 学	嵌 入 式 统 理 系 原 与 设计	其他, 请写出推荐的硬件课程

5 结束语

针对目前培养方案的修订主要是依靠因果直觉和顿悟, 缺乏心理模型和方法学, 难以制定能反映毕业生培养目标达成情况的调查问卷等问题, 本文首先经初步调查, 得到毕业生软件使用能力不足等问题; 然后, 从改进课程体系的角度出发, 通过引入反事实推理方法, 依据因果推断模型, 以得到可衡量、可评价的证据, 用于设计科学合理的用人单位和毕业生的二次社会调查问卷; 最后, 通过开展对软件相关企业和硬件相关企业的毕业生二次调查, 得出满足用人单位需求应开设的软件课程数, 以决定在最终课程体系设置中适当增加, 得出满足用人单位需求最少应开设的课程数, 以决定在最终课程体系设置中适当减少。

参考文献

- [1] 陈利华, 赵津婷, 姚立敏, 等. 基于《华盛顿协议》的高等工程教育的探索与实践[J]. 中国大学教学, 2017(10): 50-54.
- [2] 徐涛, 宫丽娜, 杨斌, 燕孝飞, 贾继洋, 李忠付. 工程教育认证+专业思政背景下人才培养方案改革与探讨[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(4):94-98
- [3] 中华人民共和国教育部, 《深化新时代教育评价改革总体方案》[EB/OL]. (2020-10-13)[2022-04-05]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xxgk/moe_1777/moe_1778/202010/t20201013_494381.html
- [4] 韩先君, 工程教育专业认证体系下的计算机类专业硕士研究生产学研育人模式探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2023, 11(3):149-153.
- [5] 施晓秋. 新需求、新理念视域下一流课程建设思考与实践[J]. 高等工程教育研究, 2022(04):52-58.
- [6] 戴先中. 工程教育专业认证中毕业要求分解指标点的利弊[J]. 高等工程教育研究, 2022(03).
- [7] 王泳涛, 杨曦. 高校修订人才培养方案的现状透视与提升路径[J]. 教育理论与实践, 2021, 41(27):3-6.
- [8] 黄斌, 李波. 因果推断、科学证据与教育研究——兼论2021年诺贝尔经济学奖得主的教育研究[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2022, 40(04):1-15.
- [9] 张重远, 岳浩天, 王博闻, 刘云鹏, 罗世豪. 基于相似矩阵盲源分离与卷积神经网络的局部放电超声信号深度学习模式识别方法[J]. 电网技术, 2019, 43(06):1900-1907.
- [10] 陈玉昇, 杨燕华, 林萌, 余刃. 基于深度学习神经网络的核电厂故障诊断技术[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(S1):58-61.
- [11] 刘晓鸣. 深度学习在医学影像分割与分类中的关键技术研究[D]. 吉林大学, 2021.
- [12] Wang F Y, Zhang J J, Zheng X, et al. Where does AlphaGo go: From church-turing thesis to AlphaGo thesis and beyond[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2016, 3(2): 113-120.
- [13] Pearl J, Mackenzie D. The book of why: the new science of cause and effect[M]. Basic books, 2018.
- [14] Lake B M, Ullman T D, Tenenbaum J B, et al. Building machines that learn and think like people[J]. Behavioral and brain sciences, 2017, 40.
- [15] 姚宁, 苗夺谦, 张志飞. 因果信息在不同粒度上的迁移性[J]. 计算机科学, 2019, 46(02):178-186.
- [16] Ohlsson H, Kendler K S. Applying causal inference methods in psychiatric epidemiology: a review[J]. JAMA psychiatry, 2020, 77(6): 637-644.
- [17] Yao L, Chu Z, Li S, et al. A survey on causal inference[J]. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD), 2021, 15(5): 1-46.
- [18] 黄斌, 李波. 因果推断、科学证据与教育研究——兼论2021年诺贝尔经济学奖得主的教育研究[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2022, 40(04):1-15.
- [19] 马忠贵, 徐晓晗, 刘雪儿. 因果推断三种分析框架及其应用理论体系综述[J]. 工程科学学报, 2021.
- [20] Pearl J. On the Interpretation of do (x)[J]. Journal of Causal Inference, 2019, 7(1).
- [21] Pearl J. Probabilities of causation: three counterfactual interpretations and their identification[M]//Probabilistic and Causal Inference: The Works of Judea Pearl. 2022: 317-372.
- [22] Morgan S L, Winship C. Counterfactuals and causal inference[M]. Cambridge University Press, 2015.
- [23] Pearl J. The seven tools of causal inference, with reflections on machine learning[J]. Communications of the ACM, 2019, 62(3): 54-60.
- [24] 胡安宁. 社会科学因果推断的理论基础[M]. 社会科学文献出版社, 2015.